

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-257549

(43)Date of publication of application : 11.09.2002

(51)Int.Cl.

G01C 19/56

G01P 9/04

H01L 41/09

H01L 41/08

H01L 41/22

(21)Application number : 2001-057208

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 01.03.2001

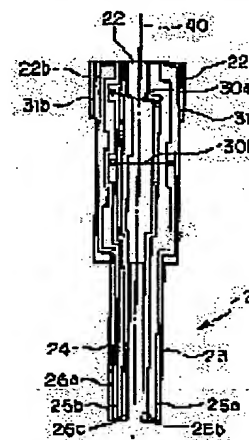
(72)Inventor : ASANO SHOGO
NAKANO YASUYUKI
SEKINO HARUHIKO
FUKUDA TORU

(54) TUNING-FORK OSCILLATOR, ANGULAR VELOCITY SENSOR EQUIPPED WITH TUNING-FORK OSCILLATOR AND MANUFACTURING METHOD OF ANGULAR VELOCITY SENSOR

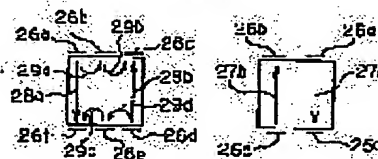
(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a tuning-fork oscillator having high detection accuracy of angular velocity compared with hitherto, an angular velocity sensor and a manufacturing method of the angular velocity sensor.

SOLUTION: This tuning-fork oscillator 21 has a base 22 where projecting fixed part 22a, 22b are formed, and an excitation axis 23 and a detection axis 24 erected from the base 22 and arranged oppositely, and comprises a piezoelectric element. In the oscillator, the excitation axis 23 is plane-vertically polarized so that excitation electrodes 25a, 25d and excitation electrodes 25b, 25c have mutually reverse polarization directions, and the detection axis 24 is plane-vertically polarized so that detection electrodes 26a, 26f and detection electrodes 26c, 26d on both ends have mutually reverse polarization directions, and inplane-polarized so that center detection electrodes 26b, 26e have zero potential between themselves and the detection electrodes 26a, 26f, 26c, 26d on both ends, and the excitation electrodes 25b, 25c and the detection electrodes 26c, 26d have mutually the same polarization direction.



(a)



(b)

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-257549
(P2002-257549A)

(43) 公開日 平成14年9月11日 (2002.9.11)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
G 0 1 C 19/56		G 0 1 C 19/56	2 F 1 0 5
G 0 1 P 9/04		G 0 1 P 9/04	
H 0 1 L 41/09		H 0 1 L 41/08	U
41/08			Z
41/22		41/22	Z
審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 20 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-57208(P2001-57208)

(22) 出願日 平成13年3月1日 (2001.3.1)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 浅野 勝吾

神奈川県横浜市港北区綱島東四丁目3番1

号 松下通信工業株式会社内

(72) 発明者 中野 泰之

神奈川県横浜市港北区綱島東四丁目3番1

号 松下通信工業株式会社内

(74) 代理人 100072604

弁理士 有我 軍一郎

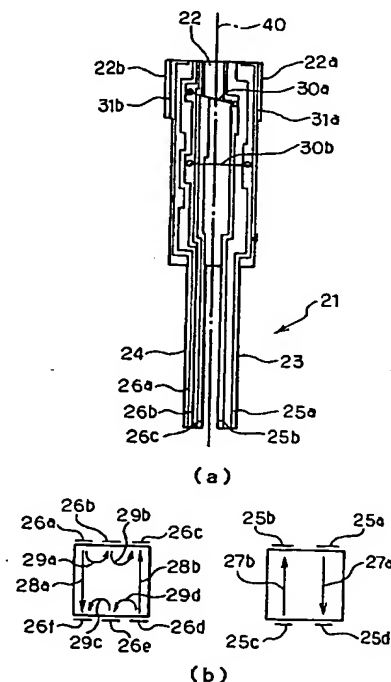
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音叉振動子、音叉振動子を備えた角速度センサ及び角速度センサの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 従来と比較して角速度の検出精度の高い音叉振動子、角速度センサ及び角速度センサの製造方法を提供すること。

【解決手段】 突起状の固定部22a、22bが形成された基台22と、基台22から立設されて対向配置される励振軸23及び検出軸24とを有し、圧電素子から構成される音叉振動子21において、励振軸23が励振電極25a、25dと励振電極25b、25cとで互いに逆方向の分極方向になるように面垂直分極され、検出軸24が、両端の検出電極26a、26fと検出電極26c、26dとで互いに逆方向の分極方向になるように面垂直分極されるとともに、中央の検出電極26b、26eで両端の検出電極26a、26f、26c、26dとの間で零電位となるように面内分極され、励振電極25b、25cと検出電極26c、26dとの分極方向が同一であるようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 突起状の固定部が形成された基台と、前記基台から立設されて対向配置される第 1 励振軸及び第 1 検出軸とを有し、圧電素子から構成されるとともに、前記第 1 励振軸及び前記第 1 検出軸が近接離隔する面内方向に励振し、励振した状態で、前記第 1 励振軸と第 1 検出軸とに平行で、これら 2 つの軸に対向中心軸を回転軸とした角速度が印加された時に発生するコリオリ力を面垂直方向の撓みとして検出する音叉振動子において、前記第 1 励振軸が、表裏面に前記基台に導出され互いに対向する励振電極を 2 組設け、前記 2 組の励振電極で互いに逆方向の分極方向になるように面垂直分極され、前記第 1 検出軸が、表裏面に前記基台に導出され互いに対向する検出電極を 3 組設け、前記 3 組の検出電極のうち両端の検出電極で互いに逆方向の分極方向になるように面垂直分極されるとともに、前記 3 組の検出電極のうち中央の検出電極で前記両端の検出電極との間で零電位となるように面内分極され、前記 2 組の励振電極のうち前記第 1 検出軸側の 1 組の励振電極と、前記 3 組の検出電極のうち前記第 1 励振軸側の 1 組の検出電極との分極方向が同一であることを特徴とする音叉振動子。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の音叉振動子と、前記音叉振動子の前記突起状の固定部の稜部を挟持するアーム状の嵌合部を有し、前記嵌合部に前記稜部を嵌合させることによって前記音叉振動子を保持する保持部材とを備えたことを特徴とする角速度センサ。

【請求項 3】 前記音叉振動子の前記基台への電極パターン配置において、前記基台に導出される前記第 1 励振軸の 2 つの励振電極が、前記音叉振動子の中心軸の片側だけに配置されたことを特徴とする請求項 2 に記載の角速度センサ。

【請求項 4】 前記保持部材が、ピンを有し、前記ピンを回路基板に固定することによって前記音叉振動子を前記回路基板に実装することを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の角速度センサ。

【請求項 5】 前記保持部材が、前記嵌合部に V 溝を有し、応力を平等化させたバネ性の V 溝クランプであることを特徴とする請求項 2 ～ 4 の何れかに記載の角速度センサ。

【請求項 6】 前記保持部材が、タングステン、リン青銅又はステンレス鋼から構成されたことを特徴とする請求項 2 ～ 5 の何れかに記載の角速度センサ。

【請求項 7】 角速度発生時のコリオリ力検出回路として、前記第 1 検出軸の励振を、前記第 1 励振軸からの音叉駆動だけでなく、前記第 1 検出軸自体の駆動も合わせて行うことを特徴とする請求項 2 ～ 6 の何れかに記載の角速度センサ。

【請求項 8】 前記音叉振動子の回転軸とヨー回転軸との方向が同一となるように、前記音叉振動子が前記回路

基板に実装されたことを特徴とする請求項 2 ～ 7 の何れかに記載の角速度センサ。

【請求項 9】 前記音叉振動子を前記保持部材に保持して前記回路基板に実装することによって成る振動子ユニットを、アンダー弾性シートとアッパー弾性シートとを介してステムとキャップとで挟持するとともに、信号線接続をフレキシブルな基板で行うことによって、前記音叉振動子を弾性支持することを特徴とする請求項 2 ～ 8 の何れかに記載の角速度センサ。

【請求項 10】 前記音叉振動子が、前記基台を挟んで前記第 1 検出軸に対向配置されるとともに前記第 1 励振軸と同一条件の分極方向及び電極を有する第 2 励振軸と、前記基台を挟んで前記第 1 励振軸に対向配置されるとともに前記第 1 検出軸と同一条件の分極方向及び電極を有する第 2 検出軸とを有し、

前記第 1 励振軸及び前記第 2 励振軸が面内方向に励振するときに、前記第 1 励振軸及び前記第 1 検出軸の励振方向に対して前記第 2 励振軸及び前記第 2 検出軸が逆方向に励振し、励振した状態で、前記回転軸のまわりに角速度を印加した時に発生するコリオリ力によって前記第 1 検出軸及び前記第 2 検出軸が面垂直方向で互いに逆方向に振動することを特徴とする請求項 2 ～ 9 の何れかに記載の角速度センサ。

【請求項 11】 前記音叉振動子が、前記基台を挟んで前記第 1 励振軸に対向配置されるとともに前記第 1 励振軸と同一条件の分極方向及び電極を有する第 2 励振軸と、前記基台を挟んで前記第 1 検出軸に対向配置されるとともに前記第 1 検出軸と同一条件の分極方向及び電極を有する第 2 検出軸とを有し、

前記第 1 励振軸及び前記第 2 励振軸が面内方向に励振するときに、前記第 1 励振軸及び前記第 1 検出軸の励振方向に対して前記第 2 励振軸及び前記第 2 検出軸が同方向に励振し、励振した状態で、前記回転軸のまわりに角速度を印加した時に発生するコリオリ力によって前記第 1 検出軸及び前記第 2 検出軸が面垂直方向で同方向に振動することを特徴とする請求項 2 ～ 9 の何れかに記載の角速度センサ。

【請求項 12】 請求項 2 ～ 11 の何れかに記載の角速度センサの製造方法であって、前記音叉振動子を製造するに際して、圧電素子からなるシート材を準備して前記シート材にフォトリソグラフィによって一括して前記励振電極及び前記検出電極を形成し、次いで、前記励振電極及び前記検出電極に電圧を印加して前記分極方向に一括して分極処理を行った後、前記シート材から前記音叉振動子を切り出すことを特徴とする角速度センサの製造方法。

【請求項 13】 前記励振電極及び前記検出電極に電圧を印加して前記分極方向に一括して分極処理を行う際、前記 2 組の励振電極のうち前記第 1 検出軸側の 1 組の励振電極と、前記 3 組の検出電極のうち前記第 1 励振軸側

の 1 組の検出電極との分極方向が同一となるように分極処理を行うことを特徴とする請求項 12 に記載の角速度センサの製造方法。

【請求項 14】 前記励振電極及び前記検出電極に電圧を印加して前記分極方向に一括して分極処理を行う際、前記シート材の裏面の対向する対応電極を GND に接続した状態で前記シート材の表面の負電極に負の分極電圧を印加して面垂直分極を行い、次いで、前記シート材の裏面の対向する対応電極を GND に接続した状態で前記シート材の表面の正電極に正の分極電圧を印加して面垂直分極を行った後、前記 3 組の検出電極のうち中央の検出電極を GND に接続した状態で、前記シート材の表裏面の正負同電極同士を接続して、正、負の分極電圧を印加して前記 3 組の検出電極のうち中央の検出電極の両側を同時に面内分極することを特徴とする請求項 12 又は 13 に記載の角速度センサの製造方法。

【請求項 15】 前記音叉振動子のメッキとして、下地メッキとして低リンタイプ無電解 Ni メッキ、又は、Ni-B (ボロン) タイプ無電解 Ni メッキを施し、前記下地メッキの上に光沢電気 Ni メッキを施すというコン

バインメッキにすることを特徴とする請求項 12～14 の何れかに記載の角速度センサの製造方法。

【請求項 16】 メッキ処理が施された前記保持部材を準備するとともに、前記シート材から切り出された前記音叉振動子の固定部を前記保持部材の前記嵌合部に嵌合した後、前記保持部材を加熱して前記保持部材に施されたメッキを溶融して前記固定部と前記嵌合部との隙間に充填することを特徴とする請求項 12～15 の何れかに記載の角速度センサの製造方法。

【請求項 17】 請求項 2～11 の何れかに記載の角速度センサの製造方法であって、前記保持部材にクランプされた前記音叉振動子の前記励振軸に形成された前記励振電極のそれぞれに交流電圧を印加することによって、前記音叉振動子を面内方向に励振させておき、次いで、前記検出軸の同一面側に形成された両端の前記検出電極と、中央の前記検出電極との間に発生するそれぞれの出力電圧の差をモニタすることによって、前記音叉振動子のよじれ振動の有無と、前記音叉振動子によじれ振動が有った場合のよじれの大きさ及びよじれ方向とを判定することを特徴とする角速度センサの製造方法。

【請求項 18】 前記音叉振動子のよじれ振動の有無の判定の結果、前記音叉振動子によじれ振動が有った場合、前記励振軸又は前記検出軸の何れかのカド部を面取りすることによって、前記音叉振動子のよじれ振動を低減することを特徴とする請求項 17 に記載の角速度センサの製造方法。

【請求項 19】 前記励振軸又は前記検出軸の何れかのカド部を面取りする際に、よじれが向かう方向に位置する前記励振軸又は前記検出軸のカド部を 1 カ所又は複数カ所面取りすることによって、前記音叉振動子のよじれ

振動を低減することを特徴とする請求項 18 に記載の角速度センサの製造方法。

【請求項 20】 請求項 9～11 の何れかに記載の角速度センサの製造方法であって、前記フレキシブルな基板で接続された前記回路基板に前記保持部材を介して前記音叉振動子を実装し、サポートと組み合わせて成るセンサユニットを、前記システム上に前記アンダー弾性シートの弾性突起で挟持することによって保持し、前記フレキシブルな基板の信号線を前記システムに形成されたリードピンに接続した状態で角速度の印加を行ってコリオリ出力を検出測定するとともに、検出測定した測定データに基づいて前記回路基板に実装又は形成された抵抗体をトリミングすることによって特性調整を行うことを特徴とする角速度センサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、音叉振動子、角速度センサ及び角速度センサの製造方法に関し、より詳しくは、車両、航空機、及び、船舶等の移動体の姿勢制御やナビゲーションシステムに使用される音叉振動子、角速度センサ及び角速度センサの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、高度情報化が進むにつれて、より正確な情報を得ることができるセンサが求められ、様々な分野でセンサの開発が進められている。中でも角速度センサはニーズが高いセンサであり、特に音叉振動型の角速度センサは小型軽量に製造できることから幅広い分野で応用されている。

【0003】従来、音叉振動型の角速度センサとして、例えば、図 24 に示すような角速度センサが知られている。

【0004】まず、この角速度センサの構成について説明する。

【0005】図 24 において、角速度センサ 900 の基台 910 には固定軸 920 を介して U 字型の金属振動板 940 が設けられている。金属振動板 940 の一方の面には励振用圧電素子 951 が設けられているとともに、他方の面にはモニタ用圧電素子 952 が設けられており、圧電素子 951、952 は接着剤によって金属振動板 940 に固着されている。

【0006】また、金属振動板 940 には一対の金属板 941、942 が、金属振動板 940 の面と金属板 941、942 の面とが直交するように設けられている。金属板 941、942 にはそれぞれコリオリ検出用圧電素子 953、954 が、圧電素子 951、952 の面とコリオリ検出用圧電素子 953、954 の面とが直交するように設けられており、圧電素子 953、954 は接着剤によって金属板 941、942 に固着されている。

【0007】そして、これら金属振動板 940、金属板 941、942、圧電素子 951～954 が音叉振動子

930を構成している。

【0008】また、圧電素子951～954はそれぞれリード線961～964によってリードピン971～974に接続されており、リードピン971～974はガラス等の絶縁体980を介して基台910と電氣的に絶縁されている。

【0009】次に、この各速度センサの動作について説明する。

【0010】図24(a)において、励振用圧電素子951に電圧を印加すると、音叉振動子930が矢印930aの方向に音叉励振される。なお、励振用圧電素子951への印加電圧は、モニタ用圧電素子952によってモニタリングされる励振周波数及び振幅に基づいて、音叉振動子930が常に一定の周波数と振幅で励振されるようにコントロールされる。

$$FC = 2mV\omega$$

【0013】したがって、回転角速度 ω 、即ち、角速度は、角速度センサ900を用いることによって得ることができていた。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の角速度センサにおいては、角速度の検出精度を高めることができないという問題があった。

【0015】より詳細に説明すると、角速度センサ900においては、回転角速度 ω が発生し、音叉振動子930にコリオリ力FCが加わると、音叉振動子930が図24(b)の矢印941a、942aの方向に撓むことによって発生する回転モーメントMが固定軸920に加わるため、固定軸920と基台910及び金属振動板940との固定度合いが角速度の検出精度のばらつき要因となっていた。また、励振用圧電素子951、モニタ用圧電素子952及びコリオリ検出用圧電素子953、954が接着剤によって金属振動板940及び金属板941、942に固着されていたため、接着ばらつき及び接着剤の温度特性が角速度センサ900による角速度の検出精度のばらつき要因となっていた。更に、この接着精度や、上述した固定軸920と基台910及び音叉振動子930との固定精度や、音叉振動子930の曲げ加工精度等の組み立て加工時の精度のばらつきも角速度センサ900による角速度の検出精度のばらつき要因となっていた。

【0016】また、振動する金属振動板940及び金属板941、942に、リード線961～964が圧電素子951～954を介して接続されるため、リード線961～964の振れが角速度センサ900による角速度の検出精度のばらつき要因となっていた。

【0017】また、上記従来の角速度センサは非共振型角速度センサであるので、共振型角速度センサに比べて感度が低いという問題があった。より詳細に説明すると、角速度センサ900において、励振方向(矢印93

*【0011】このとき、図24(b)に示すように、角速度センサ900の検出軸901に矢印900aの方向の回転角速度 ω が加わると、音叉励振されている矢印930aの方向に対して直角方向に発生するコリオリ力FCによって金属板941、942が互いに逆方向(矢印941a、942aの方向)に撓む。

【0012】ここで、コリオリ力FCは、コリオリ検出用圧電素子953、954の一方に伸び、他方に縮みという逆方向の歪みを発生させるので、コリオリ検出用圧電素子953、954の検出電圧をリード線963、964を介してリードピン973、974から差動出力として取り出すことができる。また、コリオリ力FCは、回転角速度 ω 、音叉振動子930の質量m、及び、音叉振動子930の励振速度Vを用いて次式のように表すことができる。

$$\cdots \text{式(1)}$$

0aの方向)とコリオリ検出方向(矢印941a、942aの方向)とでは、金属振動板940及び金属板941、942の形状(厚み及び幅)が一致しないので、図25に示すように励振時の共振周波数Faとコリオリ検出時の共振周波数Fbを一致させ難かった。

【0018】そこで、本発明は、従来と比較して角速度の検出精度の高い音叉振動子、角速度センサ及び角速度センサの製造方法を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の音叉振動子は、突起状の固定部が形成された基台と、前記基台から立設されて対向配置される第1励振軸及び第1検出軸とを有し、圧電素子から構成されるとともに、前記第1励振軸及び前記第1検出軸が近接離隔する面内方向に励振し、励振した状態で、前記第1励振軸と第1検出軸とに平行で、これら2つの軸に対向中心軸を回転軸とした角速度が印加された時に発生するコリオリ力を面垂直方向の撓みとして検出する音叉振動子において、前記第1励振軸が、表裏面に前記基台に導出され互に対向する励振電極を2組設け、前記2組の励振電極で互いに逆方向の分極方向になるように面垂直分極され、前記第1検出軸が、表裏面に前記基台に導出され互に対向する検出電極を3組設け、前記3組の検出電極のうち両端の検出電極で互いに逆方向の分極方向になるように面垂直分極されるとともに、前記3組の検出電極のうち中央の検出電極で前記両端の検出電極との間で零電位となるように面内分極され、前記2組の励振電極のうち前記第1検出軸側の1組の励振電極と、前記3組の検出電極のうち前記第1励振軸側の1組の検出電極との分極方向が同一である構成を有している。この構成により、音叉振動子を面内方向に励振させておき、この励振状態で、音叉振動子の中心軸回りに角速度が印加されることによって励振方向と直角の面垂直方向に発生するコリオリ力を検出軸の面垂直方向の撓みとして検出

することによって角速度を検出することができる。また、この構成では、音叉振動子をユニモルフの一体構成にすることができるため、バイモルフ音叉振動子を構成したときのような接着剤を不要にでき、振動特性の安定化を図ることができる上、音叉振動子の特性を生かして面内振動特性を安定化させることができる。また、音叉振動子の励振を面内の音叉励振としているため、励振効率の向上を図ることができる上に、励振軸の表裏面の２つずつの電極形成を行うことによって面内励振のための励振電極面積を大きくとることができるため、励振効率を向上させることができる。また、検出軸に、面内分極により零電位となる電極を中央に配置し、面垂直分極によって両側に＋逆方向の電位となる電極を配置することによって、コリオリ力の検出出力を両側の電極と中央零電位の電極との差動で取り出すことができるため、ノイズのキャンセルを行うことができ、検出感度を向上させる。

【0020】また、本発明の角速度センサは、音叉振動子と、前記音叉振動子の前記突起状の固定部の稜部を挟持するアーム状の嵌合部を有し、前記嵌合部に前記稜部を嵌合させることによって前記音叉振動子を保持する保持部材とを備えた構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、音叉振動子を保持する保持部材を設け、この保持部材に、突起状の固定部の稜部を挟持するように稜部に嵌合されるアーム状の嵌合部を設けたため、音叉振動子を保持する際にアーム状の嵌合部を変形させるようにしてバネ性を得ることができ、線当たり固定としているために音叉振動子を安定して保持することができるとともに、固定のばらつきが検出感度に影響を与えるのを少なくすることができる。

【0021】また、本発明の角速度センサは、前記音叉振動子の前記基台への電極パターン配置において、前記基台に導出される前記第１励振軸の２つの励振電極が、前記音叉振動子の中心軸の片側だけに配置された構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、基台に導出される励振軸の２つの電極パターンを、音叉振動子の中心軸の片側に配置することによって、励振駆動時に２つの励振電極パターンが基台自体を伸縮するのをキャンセルさせ、基台自体が振動するのを防止することができる。そのため、検出感度を向上できる。さらに、励振、検出の両電極を基台に導出することにより、回路基板との信号線接続を振動の少ない基台で行うことができるため、接続の信頼性の向上を図ることができる。

【0022】また、本発明の角速度センサは、前記保持部材が、ピンを有し、前記ピンを回路基板に固定することによって前記音叉振動子を前記回路基板に実装する構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、保持部材を直接回路基板に半田付け等によって簡単に実装することができるため、音叉振動の実装の信頼

性を高くするとともに実装作業の作業性を向上させることができる。

【0023】また、本発明の角速度センサは、前記保持部材が、前記嵌合部にＶ溝を有し、応力を平等化させたバネ性のＶ溝クランプである構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、保持部材を応力を平等化させた形状にすることによって小型化を実現するとともに、強力なクランプ力を発生させることができる。このようなＶ溝保持部材を用いて音叉振動子を保持（固定）すると励振時の機械的リークが安定するため、特性を安定化することが可能となる。

【0024】また、本発明の角速度センサは、前記保持部材が、タングステン、リン青銅又はステンレス鋼から構成された構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、保持部材として比重が大きく、バネ性の強いタングステン、リン青銅又はステンレス鋼を使用することによって、音叉振動子の励振時とコリオリ力検出時の振動リークを少なくして音叉振動子を保持部材によって安定して保持することができる。

【0025】また、本発明の角速度センサは、角速度発生時のコリオリ力検出回路として、前記第１検出軸の励振を、前記第１励振軸からの音叉駆動だけでなく、前記第１検出軸自体の駆動も合わせて行う構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、検出軸の励振を、励振軸からの従属的音叉駆動だけでなく、検出軸自体の駆動も合わせて行うため、振幅が大きくなり、検出感度が向上する。

【0026】また、本発明の角速度センサは、前記音叉振動子の回転軸とヨー回転軸との方向が同一となるように、前記音叉振動子が前記回路基板に実装された構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、自動車等のヨー回転時の角速度を高精度に検出することができる。

【0027】また、本発明の角速度センサは、前記音叉振動子を前記保持部材に保持して前記回路基板に実装することによって成る振動子ユニットを、アンダー弾性シートとアッパー弾性シートとを介してステムとキャップとで挟持するとともに、信号線接続をフレキシブルな基板で行うことによって、前記音叉振動子を弾性支持する構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、音叉振動子をステムからフローティングした弾性支持とすることができるため、外部振動ノイズからの影響を最小限にすることが可能になる。また、落下衝撃に対しても強くすることができる。

【0028】また、本発明の角速度センサは、前記音叉振動子が、前記基台を挟んで前記第１検出軸に対向配置されるとともに前記第１励振軸と同一条件の分極方向及び電極を有する第２励振軸と、前記基台を挟んで前記第１励振軸に対向配置されるとともに前記第１検出軸と同一条件の分極方向及び電極を有する第２検出軸とを有

し、前記第 1 励振軸及び前記第 2 励振軸が面内方向に励振するときに、前記第 1 励振軸及び前記第 1 検出軸の励振方向に対して前記第 2 励振軸及び前記第 2 検出軸が逆方向に励振し、励振した状態で、前記回転軸のまわりに角速度を印加した時に発生するコリオリ力によって前記第 1 検出軸及び前記第 2 検出軸が面垂直方向で互いに逆方向に振動する構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、音叉振動子を基台を挟んで励振軸及び検出軸が交互に対向する H 型構造としたため、面内方向励振時には、音叉振動のための振動リークを小さくすることができる。これに加えて、面垂直方向検出時には、上下二組の励振軸及び検出軸の面垂直振動をモーメントを打ち消し合う方向に作用させることができ、励振時及びコリオリ力検出時の両方で振動リークが少ない音叉振動子を得ることができる。この結果、検出感度の向上を図ることができるとともに、励振を面内方向に二組の励振軸及び検出軸の開閉方向（近接、離隔方向）が互いに逆方向になるように行うことができ、固定部でのモーメントを低減（キャンセル）して安定した固定を行うことができる。また、コリオリ力検出時の面垂直振動によって、固定部に発生するモーメントも上下の励振軸及び検出軸でキャンセルする方向に作用させることができるため、コリオリ力検出に対しても安定した固定を行うことができる。この結果、励振、検出の両方の効率を向上させることができ、感度の向上を図ることができる。

【0029】また、本発明の角速度センサは、前記音叉振動子が、前記基台を挟んで前記第 1 励振軸に対向配置されるときとも前記第 1 励振軸と同一条件の分極方向及び電極を有する第 2 励振軸と、前記基台を挟んで前記第 1 検出軸に対向配置されるときとも前記第 1 検出軸と同一条件の分極方向及び電極を有する第 2 検出軸とを有し、前記第 1 励振軸及び前記第 2 励振軸が面内方向に励振するときに、前記第 1 励振軸及び前記第 1 検出軸の励振方向に対して前記第 2 励振軸及び前記第 2 検出軸が同方向に励振し、励振した状態で、前記回転軸のまわりに角速度を印加した時に発生するコリオリ力によって前記第 1 検出軸及び前記第 2 検出軸が面垂直方向で同方向に振動する構成を有している。この構成により、本発明の角速度センサは、音叉振動子を基台を挟んで励振軸及び検出軸が交互に対向する H 型構造としたため、コリオリ力発生時、二対の励振軸及び検出軸からの出力を得ることができ感度を向上できる。また、面内方向励振時には、音叉振動のための振動リークを小さくすることができる。

【0030】また、本発明の角速度センサの製造方法は、前記音叉振動子を製造するに際して、圧電素子からなるシート材を準備して前記シート材にフォトリソグラフィによって一括して前記励振電極及び前記検出電極を形成し、次いで、前記励振電極及び前記検出電極に電

圧を印加して前記分極方向に一括して分極処理を行った後、前記シート材から前記音叉振動子を切り出す構成を有している。この構成により、角速度センサの心臓部である音叉振動子を一括電極形成、一括分極処理、一括切り出し方式によって製造することができ、角速度センサのコストを低減することができる。

【0031】また、本発明の角速度センサの製造方法は、前記励振電極及び前記検出電極に電圧を印加して前記分極方向に一括して分極処理を行う際、前記 2 組の励振電極のうち前記第 1 検出軸側の 1 組の励振電極と、前記 3 組の検出電極のうち前記第 1 励振軸側の 1 組の検出電極との分極方向が同一となるように分極処理を行う構成を有している。この構成により、一括分極処理時、励振軸と検出軸との隣り合う電極の分極方向が同一となるように分極処理することにより、励振軸と検出軸とで互いに分極の影響を低減することができるため、分極時の減極を低減することができる。

【0032】また、本発明の角速度センサの製造方法は、前記励振電極及び前記検出電極に電圧を印加して前記分極方向に一括して分極処理を行う際、前記シート材の裏面の対向する対応電極を GND に接続した状態で前記シート材の表面の負電極に負の分極電圧を印加して面垂直分極を行い、次いで、前記シート材の裏面の対向する対応電極を GND に接続した状態で前記シート材の表面の正電極に正の分極電圧を印加して面垂直分極を行った後、前記 3 組の検出電極のうち中央の検出電極を GND に接続した状態で、前記シート材の表裏面の正負同電極同士を接続して、正、負の分極電圧を印加して前記 3 組の検出電極のうち中央の検出電極の両側を同時に面内分極する構成を有している。この構成により、2 カ所の面垂直分極と 2 カ所の面内分極が 3 回の分極回数で実施できて、分極の効率化が図れるばかりでなく、検出軸の 3 組の検出電極のうち中央の検出電極を零電位とした両側の面内分極が同時に実施できて、面内分極のばらつきが低減できるというメリットを有する。

【0033】また、本発明の角速度センサの製造方法は、前記音叉振動子のメッキとして、下地メッキとして低リソタイプ無電解 Ni メッキ、又は、Ni-B（ボロン）タイプ無電解 Ni メッキを施し、前記下地メッキの上に光沢電気 Ni メッキを施すというコンパインメッキにする構成を有している。この構成により、電極パターンのフォトリソグラフィ形成とアルミ線のワイヤボンディングとの両立を可能ならしめるものである。

【0034】また、本発明の角速度センサの製造方法は、メッキ処理が施された前記保持部材を準備するとともに、前記シート材から切り出された前記音叉振動子の固定部を前記保持部材の前記嵌合部に嵌合した後、前記保持部材を加熱して前記保持部材に施されたメッキを溶融して前記固定部と前記嵌合部との隙間に充填する構成を有している。この構成により、保持部材を固定部に密

着させることができ、音叉振動子を保持部材に安定して確実に取り付けることができる。

【0035】また、本発明の角速度センサの製造方法は、前記保持部材にクランプされた前記音叉振動子の前記励振軸に形成された前記励振電極のそれぞれに交流電圧を印加することによって、前記音叉振動子を面内方向に励振させておき、次いで、前記検出軸の同一面側に形成された両端の前記検出電極と、中央の前記検出電極との間に発生するそれぞれの出力電圧の差をモニタすることによって、前記音叉振動子のよじれ振動の有無と、前記音叉振動子によじれ振動が有った場合のよじれの大きさ及びよじれ方向とを判定する構成を有している。この構成により、面内励振させているにも拘わらず混入する面垂直方向の不要振動モード（結果として音叉振動子によじれ振動となる）の大きさと振動方向を組み立ての前段階で容易に検出することができる。

【0036】また、本発明の角速度センサの製造方法は、前記音叉振動子のよじれ振動の有無の判定の結果、前記音叉振動子によじれ振動が有った場合、前記励振軸又は前記検出軸の何れかのカド部を面取りすることによって、前記音叉振動子のよじれ振動を低減する構成を有している。この構成により、面内励振させているにも拘わらず混入している不要振動モード（音叉振動子の励振軸と検出軸との形状寸法の微少な違いなどが原因で発生する）を容易に低減させ正規の面内励振をさせることが可能となる。

【0037】また、本発明の角速度センサの製造方法は、前記励振軸又は前記検出軸の何れかのカド部を面取りする際に、よじれが向かう方向に位置する前記励振軸又は前記検出軸のカド部を1カ所又は複数カ所面取りすることによって、前記音叉振動子のよじれ振動を低減する構成を有している。この構成により、よじれ振動の方向とそれを矯正するためのC面取りカド部箇所を特定できる。

【0038】また、本発明の角速度センサの製造方法は、前記フレキシブルな基板で接続された前記回路基板に前記保持部材を介して前記音叉振動子を実装し、サポートと組み合わせて成るセンサユニットを、前記システム上に前記アンダー弾性シートの弾性突起で挟持することによって保持し、前記フレキシブルな基板の信号線を前記システムに形成されたリードピンに接続した状態で角速度の印加を行ってコリオリ出力を検出測定するとともに、検出測定した測定データに基づいて前記回路基板に実装又は形成された抵抗体をトリミングすることによって特性調整を行う構成を有している。この構成により、音叉振動子を、キャン封止した状態と近い状態で角速度印加を行って、コリオリ出力を測定できるため、測定データがキャン封止された最終形状の角速度センサの測定データとあまり差がなく従ってこの状態でトリミングによる特性調整を実施しても調整精度が高く、角速度セン

サの歩留まりが向上できる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施の形態について図面に基づいて説明する。

【0040】本実施の形態に係る角速度センサは、車両、航空機、船舶等の移動体の姿勢制御やナビゲーションシステムに搭載されるものである。

【0041】まず、音叉振動子の構成について、組み立て順序を含めて説明する。

10 【0042】図1及び図2において、音叉振動子21は突起状の固定部22a、22bが形成された基台22と、基台22から立設されて対向配置される励振軸（第1励振軸）23及び検出軸（第1検出軸）24とを備え、圧電セラミックスから構成されている。

【0043】また、励振軸23の表面には2つの励振電極25a、25bが設けられておりとともに励振軸23の裏面には励振電極25a、26bに対向するように2つの励振電極25c、25dが設けられており、これら励振電極25a～25dは基台22に導出されている。

20 【0044】また、検出軸24の表面に3つの検出電極26a～26cが設けられておりとともに検出軸24の裏面には検出電極26a～26cに対向するように3つの検出電極26d～26fが設けられており、これら検出電極26a～26fは基台22に導出されている。

30 【0045】また、励振電極25a、25dと励振電極25b、25cとは分極方向が逆方向（矢印27a、27bの方向）になるように面垂直分極が行われている。また、両側の検出電極26a、26fと検出電極26c、26dとは分極方向が逆方向（矢印28a、28bの方向）になるように面垂直分極が行われており、中央の検出電極26bと両側の検出電極26a、26cとは矢印29a、29bの方向に面内分極されているとともに、中央の検出電極26eと両側の検出電極26d、26fとは矢印29a、29bの方向と逆方向（矢印29c、29dの方向）に面内分極されている。

40 【0046】このため、分極後の+電位は励振電極25a、25c及び検出電極26a、26dとなるとともに、-電極は励振電極25b、25d及び検出電極26f、26cとなり、中央の検出電極26b、26eは零電極となって基台22に導出される。基台22に導出された励振電極25a、25b及び励振電極25c、25dは、ともに音叉振動子21の中心軸40の片側に配置されている。

50 【0047】また励振軸23の表面に形成された励振電極25a、25bは零電極である検出電極26bを経由してワイヤ30a、30bによって接続されており、励振軸23の裏面に形成された励振電極25c、25dはワイヤ30cによって接続されている。また、検出電極26dと検出電極26fとはワイヤ30dで、励振電極25cと検出電極26dとはワイヤ30eで接続されて

いる。ワイヤ 30d、30e による接続は省略することも可能である。

【0048】また、固定部 22a、22b の表裏面にはそれぞれ独立電極 31a～31d が形成されており、これら独立電極 31a～31d は図 3 及び図 4 に示すクランパブロック（保持部材）32 に接触するようになっている。

【0049】このクランパブロック 32 はタングステン、リン青銅、又は、ステンレス鋼等から構成されており、固定部 22a、22b を挟持するようにして音叉振動子 21 を保持するようになっている。

【0050】即ち、クランパブロック 32 は、ガイドピン 33a～33d が形成された本体 33 と、本体 33 に設けられ、先端部に形成された V 溝 34a、35a によって固定部 22a、22b の稜部 22c～22f を保持するように固定部 22a、22b に嵌合されるアーム部材（嵌合部）34、35 と備えており、本体 33 にアーム部材 34、35 を形成するために本体 33 とアーム部材 34、35 はスリワリ 36a、36b によって分離されている。なお、アーム部材 34、35 の先端には V 溝

の代わりに半円形の溝を形成しても良い。

【0051】このクランパブロック 32 は、音叉振動子 21 をアーム部材 34、35 によって保持する際、スリワリ 36a、36b の面積が広がるようにアーム部材 34、35 を変形させることによって、バネ性を得ることができるが、アーム部材 34、35 を変形させた時、アーム部材 34、35 の各部が平等の応力になるような平等応力化設計を実施しているため、局部的に応力が集中することがない形状になっている。

【0052】また、クランパブロック 32 の V 溝 34a、35a には、図 4 (a) に示すように予め低融点メッキ 37 が施されており、音叉振動子 21 にクランパブロック 32 を取り付けした後、この V 溝 34a、35b 部分を図 4 (b) に示すようにヒータブロック 38 で加熱して低融点メッキ 37 をリフローすることにより、音叉振動子 21 の加工精度等によって生じる固定部 22a、22b の稜部 22c～22f と、V 溝 34a、35b との隙間に独立電極 31a～31d を介して低融点メッキ 37 を充填させ、音叉振動子 21 とクランパブロック 32 の固定ばらつきを低減するようにしている。また、音叉振動子 21 は、低融点メッキ 37 が塗布されたクランパブロック 32 を介して、独立電極 31a～31d がアースされるようにしても良い。

【0053】ここで、音叉振動子 21 の動作メカニズムを図 5 に基づいて説明する。

【0054】クランパブロック 32 によって固定部 22a、22b が固定された音叉振動子 21 は、励振軸 23 による励振と、音叉効果とによって、図 5 (a) に示すように励振軸 23 及び検出軸 24 が面内方向（矢印 39a、39b 及び矢印 39c、39d の方向）に励振され

る。

【0055】具体的には、励振軸 23 が矢印 39a の方向に振動すると、音叉効果によって検出軸 24 が矢印 39c の方向に振動し、次の瞬間では励振軸 23 及び検出軸 24 が矢印 39a、39c の方向と逆方向（矢印 39b、39d の方向）に振動し、この動作、即ち、励振軸 23 及び検出軸 24 が近接、離隔する面内方向の振動を繰り返す。

【0056】このような面内励振状態において、音叉振動子 21 に、音叉振動子 21 の中心軸 40 を回転中心とする回転角速度 Ω が印加されると、励振方向と略直交する方向にコリオリ力が発生するため、励振軸 23 及び検出軸 24 は図 5 (b) 及び図 5 (c) に示すように面垂直方向 40a、40b および 40a'、40b' の成分の振動が発生する。そして、この振動成分を検出軸 24 に形成された検出電極 26a～26f で検出することによって印加された角速度の大きさを計測するのである。

【0057】なお、図 6 (a) は励振及び角速度を検出する回路構成を示す図である。

【0058】図 6 (a) において、励振軸 23 の表面に形成された励振電極 25a、25b は電源 42 の一方の端子（COMMON ライン）42a に接続されているとともに、裏面に形成された励振電極 25c、25d は電源 42 の他方の端子（DRV ライン）42b に接続されており、電源 42 から正負の電圧を交互に励振電極 25a～25d に印加することによって励振軸 23 の符号 43a で囲む右部分と符号 43b で囲む左部分が交互に伸び、縮みを繰り返し、励振軸 23 が面内方向 X に振動する。このときに音叉効果によって検出軸 24 が面内方向 X に上述したメカニズムで振動する。

【0059】検出軸 24 に形成された検出電極 26a～26c はコリオリ力が発生することによって生じる面垂直方向 Y に振動するため、検出軸 24 の符号 44a で囲む上部分と符号 44b で囲む下部分との交互の伸び、縮みによって検出軸 24 に生じる電圧を、検出電極 26b をアース電極として、差動アンプ 45 から取り出された検出電極 26a、26c の差動出力（S⁻と S⁺ライン出力との差動）として出力端子 46a、46b から外部に取り出すことができる。なお、図 6 中、+、- はそれぞれ高電位、低電位を示している。

【0060】また、回路構成を図 6 (b) に示すように、検出軸 24 の裏面側の検出電極 26d、26f を電源 42 の一方の端子 42b に、検出電極 26e をもう一方の端子 42a に接続してもよい（破線で示す）。このようにすると検出軸 24 は、励振軸 23 で従属的に励振されるだけでなく検出軸 24 自体も励振することができるためコリオリ力発生時の検出感度が向上する。

【0061】なお、音叉振動子 21 への電極パターン配置としては、図 1、図 2 の他に図 7、図 8 に示すように、励振軸 23 の励振電極 25a、25b の両方が基台

22の中心軸40に対して同一の側に配置される構成であれば図7、図8の電極パターン配置でもよい。

【0062】次に、音叉振動子21が装着された角速度センサの構成を組み立て順序を含めて説明する。

【0063】まず、図9は振動子ユニットを示す図である。図9において、クランパブロック32と音叉振動子21が一体化されてなる振動子ユニット47は電子部品48a、48bが一体的に設けられた回路基板48に取り付けられている。具体的には、本体33に形成されたガイドピン33a、33bが回路基板48に形成された挿通孔に挿通されて半田付けされることにより振動子ユニット47がクランパブロック32を介して回路基板48に固定されている。なお、回路基板48は図6で説明した回路を含んでいる。

【0064】また、図10に示すように、励振軸23の裏面に形成された励振電極25dと回路基板48に形成された図6の回路で説明したCOMMONパターン25d'がワイヤ49aによって接続されている。

【0065】図11は各電極と図6で説明した回路との接続を説明する図である。

【0066】図11において、励振軸23の表面に形成された励振電極25aと25bとが、検出軸24の中央に形成された零電位の検出電極26bを経由してワイヤ30a、30bを介して回路基板48に形成された励振パターン25a'にワイヤ49bによって接続されている。また、検出電極26cと回路基板48に形成された第1の検出パターン26c'（差動アンプ45のS-側）がワイヤ49cによって接続されている。また、検出電極26aと回路基板48に形成された第2の検出パターン26a'はワイヤ49dによって接続されている。

【0067】一方、図11に示す回路基板48に実装された振動子ユニット47は、図12に示すように電子部品50a、50bが実装されるとともにサポータ51に接着された回路基板50に固定されている。具体的には、クランパブロック32のガイドピン33c、33dが回路基板50に形成された図示しない挿通孔に挿通されて半田付けされることにより振動子ユニット47及び回路基板48がサポータ51を介して回路基板50に取り付けられている。また、回路基板48及び回路基板50はフレキシブル基板52によって位置52a、52bで半田付けなどによって接続されて、センサユニット65を構成している。

【0068】次に、図13に示すように弾性突起62a、62b及び弾性突起63a、63bを有するアンダー弾性シート61が組み付けられたステム55にセンサユニット65が、サポータ51に形成された角穴64a、64bと弾性突起62a、62bとをY方向に案内挿入されて挟持状態で組み立てられる。

【0069】また、組み立て後、弾性突起63aと63

bとは図14に示すようにセンサユニット65を挟持した状態になっている。

【0070】また、サポータ51は図14に示すように封止ガラス53a～53cによってハーメチック固定されたリードピン54a～54cと、ロウ付け53d等によって気密接合されたリードピン54dとを有するステム55にアンダー弾性シート61を介して取り付けられ、フレキシブル基板52の各端子部52c、52d、52e、52fがそれぞれリードピン54a、54b、54c、54dに挿入されて半田付け固定される。この状態で、回転を与えて角速度が測定され、回路基板48又は回路基板50に実装された抵抗（図示せず）の抵抗値をトリミングして共振周波数や感度の調整を行う。共振周波数や感度の調整後、ステム55に、図15で示すようにアッパー弾性シート66を介してキャップ56を取り付ける。このキャップ56は底面がステム55に取り付けられた状態でキャップ56を真空吸引してキャップ56の底面56a全周をステム55にリングプロジェクション溶接または冷間圧接することによりステム55に固定されるようになっている。このようにして角速度センサ58が得られる。

【0071】以上のような構成にすることにより音叉振動子21を保持するセンサユニット65は、アンダー弾性シート61とアッパー弾性シート66とで挟持された状態となり、ステム55に植設されたリードピン54a、54b、54c、54dとは柔らかなフレキシブル基板52だけで固定されていることになるため、角速度センサとしては、センサ外部からの振動を遮断することになり外部振動の影響を受けにくくなっている。

【0072】なお、本発明に係る角速度センサの上述した実装形態以外の実装形態としては、例えば、図16及び図17に示すような音叉振動子71が装着された角速度センサがある。音叉振動子71は、励振軸は第1励振軸73のほかには第2励振軸74の2種類有し、検出軸も第1検出軸75と第2検出軸76の2種類有するいわゆるH型の音叉振動子71で構成されるものである。

【0073】音叉振動子71の動作メカニズムを説明する。

【0074】図16は、第1励振軸73（第1検出軸75）と第2励振軸74（第2検出軸76）とは、中心70に対して点対称の位置に配置された例を示す。

【0075】クランパブロック32によって固定部72a、72bが固定された音叉振動子71は、第1励振軸73及び第2励振軸74による励振と、音叉効果とによって図16(a)に示すように第1、第2励振軸73、74及び第1、第2検出軸75、76が面内方向（矢印96a～96d及び矢印97a～97dの方向）に励振される。

【0076】具体的には、第1励振軸73が矢印96bの方向に振動すると、音叉効果によって第1検出軸75

が矢印 96a の方向に振動し、同様に第 2 励振軸 74 が矢印 97a の方向に振動すると、音叉効果によって第 2 検出軸 76 が矢印 97b の方向に振動し、次の瞬間では第 1 励振軸 73 及び第 1 検出軸 75 が矢印 96a、96b の方向と逆方向（矢印 96c、96d の方向）に振動し、同様に第 2 励振軸 74 及び第 2 検出軸 76 が矢印 97b、97a の方向と逆方向（矢印 97d、97c の方向）に振動し、この動作、即ち、第 1 励振軸 73 及び第 1 検出軸 75 と第 2 励振軸 74 及び第 2 検出軸 76 が近接、離隔する面内方向の振動を繰り返す。即ち、第 1 励振軸 73 と第 1 検出軸 75 の組み合わせから成る第 1 音叉振動子と第 2 励振軸 74 と第 2 検出軸 76 の組み合わせから成る第 2 音叉振動子とが逆の開閉動作を繰り返すことになる。

【0077】このような面内励振状態において、音叉振動子 71 に、音叉振動子 71 の中心軸 98 を回転中心とする回転角速度 Ω が印加されると、励振方向と略直交する方向にコリオリ力が発生するため、第 1、2 励振軸 73、74 及び第 1、2 検出軸 75、76 は図 16 (b) 及び図 16 (c) に示すように面垂直方向 99a ~ 99d の成分の振動が発生する。そしてこの振動成分を第 1、第 2 検出軸 75、76 に形成された検出電極（図示しない）で検出することによって印加された角速度の大きさを計測するのである。

【0078】図 17 は、図 16 における音叉振動子 71 において、第 1 励振軸 73（第 1 検出軸 75）と第 2 励振軸 74（第 2 検出軸 76）とはセンタライン 69 に対して対称位置に配置された例を示し、この場合は、第 1 音叉振動子（第 1 励振軸 73 及び第 1 検出軸 75 で構成）と第 2 音叉振動子（第 2 励振軸 74 及び第 2 検出軸 76 で構成）とは、同じ開閉動作を繰り返すことになる。

【0079】そのため音叉振動子 71 の中心軸 98 を回転中心とする回転角速度 Ω が印加されると、図 17

(b) 及び図 17 (c) のように第 1、第 2 励振軸 73、74 は同一方向 100a、100b の方向に撓み、第 1、第 2 検出軸 75、76 も同一方向 100c、100d に撓むことになる。

【0080】この振動成分を第 1、第 2 検出軸 75、76 に形成された検出電極（図示しない）で検出することによって印加された角速度の大きさを計測する。

【0081】さて、音叉振動子 21 の製造方法について説明する。

【0082】まず、図 18 (a) に示すようにシート状に焼成され、所定の板厚寸法に仕上げられた圧電セラミックシート材 101 を準備する。次いで、図 18 (b) に示すように無電解 Ni メッキまたは、金スパッタ等によって圧電セラミックシート材 101 の全面に電極を形成した後、図 18 (c) に示すように圧電セラミックシート材 101 の端面 101a ~ 101d を加工してこの

端面 101a ~ 101d から電極を取り除いて加工の基準面となる端面 101a、101b を仕上げ加工する。圧電セラミックシート材 101 に施すメッキとしてはフォトリソグラフィ性とワイヤボンディング性とを成立させるため、低リン無電解 Ni メッキ又は Ni-B（ボロン）無電解 Ni メッキを下地として、その上に光沢性の電気 Ni メッキを施している。

【0083】次いで、図 18 (d) に示すように圧電セラミックシート材 101 の表裏面電極にフォトリソグラフィ加工を施すことによって励振電極と零電位電極を含んだ検出電極を一括して形成する。

【0084】次いで、図 19 (a) に示すように面垂直分極 102a と面内分極 102b を一括して行うことにより、図 1 示す各方向への分極 27a、27b、28a、28b、29a ~ 29d を行う。

【0085】ここで、図 20 及び図 21 を用いて分極方法について具体的に説明する。

【0086】図 20 (a) は、フォトリソグラフィ加工によって励振電極と、零電位電極を含んだ検出電極を一括形成された圧電セラミックシート材 101 を示し、(+) 電極 105、(-) 電極 106 及び零電位電極 107 が形成されている。2点鎖線 108 は、分極後に切り出される音叉振動子の形状を示し、切り出し後は図 1 に示す音叉振動子 21 となる。図 20 (b) は、励振軸 23 と検出軸 24 の断面を示し、各矢印は分極後の分極方向を示すが、励振軸 23 と検出軸 24 のとなり合う励振電極 25b、25c 及び検出電極 26c、26d の分極後の分極方向（矢印 27b と矢印 28b の方向）とは、同一方向になるようレイアウトされている。

【0087】分極手順は、図 21 (a) に示すように、最初に裏面の対応電極（励振電極 25c、検出電極 26d）を GND に接続した状態で、表面（TOP 面）の (-) 電極（励振電極 25b、検出電極 26c）に負の分極電圧を印加して第 1 の面垂直分極を行う。矢印 27b、28b は分極方向を示す。

【0088】次に、図 21 (b) に示すように、裏面の対応電極（励振電極 25d、検出電極 26f）を GND に接続した状態で、表面の (+) 電極（励振電極 25a、検出電極 26a）に正の分極電圧を印加して第 2 の面垂直分極を実施する。矢印 27a、28a は分極方向を示す。

【0089】最後に、図 21 (c) に示すように零電位電極（検出電極 26b、26e）を GND に接続した状態で表裏同極電極同士（励振電極 25a、検出電極 26a、励振電極 25c 及び検出電極 26d 同士、励振電極 25b、検出電極 26c、励振電極 25d 及び検出電極 26f 同士）を接続して、正、負の分極電圧を印加して零電位電極（検出電極 26b、26e）の両側の面内分極（矢印 29a、29b、及び矢印 29c、29d の方向）を同時に分極する。図 21 (d) は、以上の分極過

程を経て分極された複数の振動子の分極状態を示す。

【0090】以上のようにして分極を行った後、図19(b)に示すように圧電セラミックシート材101を短冊シート103a、103bに分割する。そして、図19(c)に示すように各短冊シート103a、103bから音叉振動子21の形状となるような短冊シート104を切削加工した後、この短冊シート104から図19(d)に示すように音叉振動子21を個片分割する。

【0091】次に、組み立て行程においての、よじれ振動低減のための調整方法について説明する。

【0092】図22は、よじれによる斜め振動発生時のA出力値及びB出力値の発生メカニズムを模式的に示す図である。なお、A出力値とは、検出電極26aに発生する電荷量のことであり、B出力値とは、検出電極26cに発生する電荷量のことである。

【0093】図22(a)は、無励振時を示しており、A出力値、B出力値は出ていない。

【0094】図22(b)は、振動方向が矢印115の方向である理想的な面内振動時を示しており、斜め振動の発生が無い場合A出力値とB出力値とは同一の電荷量(−10)となっている。

【0095】図22(c)は、矢印116の方向のいわゆる右肩下がりの斜め振動の場合を示している。音叉振動子21がこの状態の時、検出電極26cに加わるよじれ量が検出電極26aに加わるよじれ量よりも小さいので、検出電極26cに加わるy方向の圧縮力で発生する電荷量が検出電極26aに加わるy方向の圧縮力で発生する電荷量よりも小さくなる。つまり、検出電極26aには、x方向の圧縮力で発生する電荷量(−10)にy方向の圧縮力で発生する電荷量(−3(図中に四角で囲った部分))が加わるため、発生電荷量は(−13)となるのに対し、検出電極26cには、x方向の引張力で発生する電荷量(−10)にy方向の圧縮力で発生する電荷量(−2(図中に四角で囲った部分))が加わるため、発生電荷量は(−12)となる。したがって、A出力値(−13)と比較してB出力値(−12)が小さくなる。

【0096】図22(d)は、矢印117の方向のいわゆる右肩上がりの斜め振動の場合を示している。音叉振動子21がこの状態の時、検出電極26cに加わるよじれ量が検出電極26aに加わるよじれ量よりも小さいので、検出電極26cに加わるy方向の引張力で発生する電荷量が検出電極26aに加わるy方向の引張力で発生する電荷量よりも小さくなる。つまり、検出電極26aには、x方向の圧縮力で発生する電荷量(−10)にy方向の引張力で発生する電荷量(+3(図中に四角で囲った部分))が加わるため、発生電荷量は(−7)となるのに対し、検出電極26cには、x方向の引張力で発生する電荷量(−10)にy方向の引張力で発生する電荷量(−2(図中に四角で囲った部分))が加わるため、

発生電荷量は(−12)となる。したがって、A出力値(−7)と比較してB出力値(−12)が大きくなる。

【0097】以上のことにより、A出力値とB出力値との出力差をモニタすれば、よじれの大きさとよじれの方向が判別できる。そして、図3のように、音叉振動子21をクランパブロック32に装着した状態で励振させた時、図22(c)のように矢印116の方向の右肩下がりの斜め振動が発生した場合は、よじれが向かう方向(矢印118の方向、及び、矢印118'の方向)に位置する励振軸23のカド部119又は検出軸24のカド部119'の何れか一方又は両方を、斜線120又は斜線120'のように面取りすることによって、よじれ振動を低減できる。

【0098】同様に、図22(d)のように、矢印117の方向の右肩上がりの斜め振動が発生した場合は、よじれが向かう方向(矢印121の方向、及び、矢印121'の方向)に位置する励振軸23のカド部122又は検出軸24のカド部122'の何れか一方又は両方を、斜線123又は斜線123'のように面取りすることによって、よじれ振動を低減できる。

【0099】次に、組み立て行程において角速度センサとしての感度などの特性調整方法について説明する。

【0100】図23において、センサユニット65がアンダー弾性シート61に形成された弾性突起62a、62b、63a、63bとで挟持されて、ステム55上に弾性保持された状態で自立しており、この状態で、角速度印加用の回転テーブル124にリードピン54a、54b、54c、54dを挿入して装着され、回転(角速度)を印加されてコリオリ出力を測定する。この測定データに基づいて、回路基板48又は回路基板50に実装又は形成された抵抗体をトリミングすることによってセンサとしての感度などの特性調整を行う。特性調整終了後は図15に示すようにキャップ56で封止されるが、このような音叉振動子21をキャップ封止後に近い状態であるステム55への弾性保持状態でのコリオリ出力測定は、最終形状の角速度センサ58の測定データとあまり差がなく、高精度の調整が可能となる。

【0101】以上説明したように、本実施の形態では、突起状の固定部22a、22bが形成された基台22と、基台22から立設されて対向配置される励振軸23及び検出軸24とを有する圧電セラミックから構成された音叉振動子21と、固定部22a、22bの稜部22c〜22fに嵌合されるV溝34a、35aが形成されたアーム部材34、35を有し、V溝34a、35aに固定部22a、22bを嵌合させることにより音叉振動子21を保持するクランパブロック32とを設け、励振軸23の表裏面に励振電極25a〜25dを設けるとともに検出軸24の表裏面に検出電極26a〜26fを設け、さらに、励振軸23の分極方向として、励振軸23の表裏面の励振電極25a、25dと励振電極25b、

25cとで分極方向が互いに逆方向になるように面垂直分極を行ない、検出軸24の分極方向として、検出軸24の表裏面の両側の検出電極26a、26c、26d、26fでは表裏面で逆方向の面垂直分極を行うとともに、検出軸24の表裏面の中央の検出電極26b、26eでは両側の検出電極26a、26c、26d、26fとの間で中央の検出電極26b、26eが零電位となるように面内分極をしたため、音叉振動子21を面内方向に励振させておき、この励振状態で、音叉振動子21の中心軸40回りに角速度が印加されることによって励振方向と直角の面垂直方向に発生するコリオリ力を検出軸24の面垂直方向の撓みとして検出することによって角速度を検出することができる。

【0102】また、音叉振動子21をユニモルフの一体構成にすることができるため、バイモルフ音叉振動子を構成したときのように接着剤を不要にでき、振動特性の安定化を図ることができる上に、音叉振動子21の特性を生かして面内振動特性を安定化させることができる。

【0103】また、音叉振動子21を保持するクランプブロック32が、音叉振動子21を保持する際にアーム部材34、35を変形させるようにしてバネ性を得ることができ、V溝クランプのため音叉振動子21を安定して保持することができるとともに、固定のばらつきが検出感度に影響を与えるのを少なくすることができる。

【0104】さらに、クランプブロック32の形状を、応力を平等化した平等梁構造とすることによって、クランプブロック32の小型化とクランプ力の強力化を実現できる。

【0105】また、音叉振動子21の励振を面内の音叉励振としているため、励振効率の向上を図ることができる上に、励振軸23に表裏面の2つずつの電極形成によって面内励振のための励振電極面積を大きくとることができるため、励振効率を向上させることができる。

【0106】また、検出軸24に、面内分極により零電位となる検出電極26b、26cを中央に配置し、面垂直分極により両側に+-逆方向の電位となる検出電極26a、26c、26d、26fを配置することによって、コリオリ力の検出出力を両側の電極と中央零電位の電極との差動で取り出すことができるため、ノイズのキャンセルを行うことができ、検出感度を向上できる。

【0107】さらに、励振電極25a~25d、検出電極26a~26fを基台22に導出することにより、回路基板48との信号線接続を振動の少ない基台22で行うことができるため、接続の信頼性向上が図れる。

【0108】また、基台22に導出される励振軸23の2つの励振電極を音叉振動子21の中心軸40の片側だけに配置したことにより、励振時に基台22自体を振動させることがないので、コリオリ検出感度を向上できる。

【0109】また、音叉振動子21をクランプブロック

32を介して回路基板48に実装しているため、クランプブロック32を直接回路基板48に半田付け等によって簡単に実装することができ、音叉振動子21の実装の信頼性を高くすることができるとともに実装の作業性を向上させることができる。

【0110】また、クランプブロック32として、比重が大きく、バネ性の強いタングステン、リン青銅、又は、ステンレス鋼を使用することによって、音叉振動子21の励振時とコリオリ力検出軸の振動リークを少なくして音叉振動子21をクランプブロック32によって安定して保持することができる。

【0111】また、検出軸24の励振を、励振軸23からの従属的音叉駆動だけでなく、検出軸24自体の駆動も合わせて行うようにすれば、検出軸24がアシスト駆動されるので振幅が大きくでき、検出感度が向上する。

【0112】また、音叉振動子21の中心軸(回転軸)40とヨー回転軸方向が同一方向となるように音叉振動子21を回路基板48に実装したため、自動車等のヨー回転時の角速度高精度に検出することができる。

【0113】また、センサユニット65を、アンダー弾性シート61及びアッパー弾性シート66を介して、ステム55とキャップ56とで挟持するというフローティング構造としているため外部振動ノイズからの影響を最小限にすることが可能となるとともに落下衝撃に対しても強くすることができる。

【0114】また、音叉振動子21を製造するに際して、圧電セラミックシート材60を準備し、この圧電セラミックシート材60にフォトリソグラフィによって一括して励振電極25a~25d及び検出電極26a~26fを形成し、次いで、励振電極25a~25d及び検出電極26a~26fに電圧を印加して図1に示すように分極方向に一括して分極処理を行った後、圧電セラミックシート材60から音叉振動子21を切り出すようにしたため、角速度センサ58の心臓部である音叉振動子21を一括電極形成、一括分極処理、一括切り出し方式によって製造することができ、角速度センサ58のコストを低減することができる。

【0115】また、励振軸23と検出軸24のとなり合う電極の分極方向を同一としているため互いに干渉して減極することがなくなるとともに、表裏4カ所の面内分極を同時に実施するため分極が安定するするとともに、振動子個々の分極ばらつきを解消できる。

【0116】さらに、音叉振動子21の各電極を低リンタイプの無電解Niメッキ(または、Ni-B(ボロン)タイプ無電解Niメッキ)と光沢電気Niメッキとのコンパインメッキとしているため、フォトリソグラフィによるパターニングとアルミワイヤボンディングとを安定して行うことができ電極パターンの品質向上が図れる。

【0117】さらに、低融点メッキ37の処理が施され

たクランパブロック 32 を準備するとともに、圧電セラミックシート材 60 から切り出された音叉振動子 21 の固定部 22 a、22 b をクランパブロック 32 の V 溝 34 a、35 a に嵌合した後、ヒータブロック 38 によってクランパブロック 32 を加熱して低融点メッキ 37 を固定部 22 a、22 b と V 溝 34 a、35 a の間の隙間に充填するようにしたため、クランパブロック 32 を固定部 22 a、22 b に密着させることができ、音叉振動子 21 をクランパブロック 32 に安定して確実に取り付けることができる。

【0118】また、保持部材（クランパブロック）32 にクランプされた状態で音叉振動子 21 を面内励振し、検出電極 26 a、26 c からの出力をモニタすることによって不要なよじれ振動を組み立ての前段階で検出できるとともに励振軸 23 又は検出軸 24 を面取りすることによってよじれ振動を低減できるので、角速度センサとしての検出感度を向上できる。

【0119】また、角速度センサとしての感度等の特性調整を、キャン封止する前にキャン封止した状態とほぼ同じ状態で（フローティング状態）行うことができるため、調整精度が高く、歩留りのよいセンサの製造が可能となる。

【0120】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、従来と比較して角速度の検出精度の高い音叉振動子、角速度センサ及び角速度センサの製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】（a）本発明の一実施形態に係る角速度センサの音叉振動子の正面図

（b）図 1（a）に示す音叉振動子の分極方向を示す励振軸及び検出軸の底面図

【図 2】（a）図 1 に示す音叉振動子の側面図

（b）図 1 に示す音叉振動子の背面図

【図 3】（a）図 1 に示す音叉振動子をクランパブロックで保持した状態を示す正面図

（b）図 3（a）に示す音叉振動子及びクランパブロックの側面図

（c）図 3（a）に示す音叉振動子及びクランパブロックの上面図

【図 4】（a）図 3（a）に示す音叉振動子及びクランパブロックの部分詳細図

（b）図 3（a）に示す音叉振動子及びクランパブロックをヒータで加熱する状態を示す上面図

【図 5】（a）図 1 に示す音叉振動子の励振状態を示す正面図

（b）図 1 に示す音叉振動子のコリオリ力発生時の振動状態を示す側面図

（c）図 5（b）の状態での音叉振動子の斜視図

【図 6】（a）図 1 に示す音叉振動子の角速度検出回路

を示す回路図

（b）図 1 に示す音叉振動子の図 6（a）とは異なる角速度検出回路を示す回路図

【図 7】本発明の一実施形態に係る角速度センサの図 1 とは異なるパターンを示す電極パターン図

【図 8】本発明の一実施形態に係る角速度センサの図 1 及び図 8 とは異なるパターンを示す電極パターン図

【図 9】（a）本発明の一実施形態に係る角速度センサの音叉振動子ユニットを基板に取り付けた状態を示す正面図

（b）図 9（a）に示す音叉振動子ユニット及び基板の側面図

（c）図 9（a）に示す音叉振動子ユニット及び基板の上面図

【図 10】（a）本発明の一実施形態に係る角速度センサの音叉振動子ユニットの裏面を基板にワイヤボンディングした状態を示す正面図

（b）図 10（a）に示す音叉振動子ユニット及び基板の下面図

20 【図 11】（a）本発明の一実施形態に係る角速度センサの音叉振動子ユニットの表面を基板にワイヤボンディングした状態を示す正面図

（b）図 11（a）に示す音叉振動子ユニット及び基板の側面図

（c）図 11（a）に示す音叉振動子ユニット及び基板の上面図

【図 12】（a）本発明の一実施形態に係る角速度センサの音叉振動子ユニットを基板及びサポータに取り付けた状態を示す上面図

30 （b）図 12（a）に示す音叉振動子ユニット、基板及びサポータの正面図

（c）図 12（a）に示す音叉振動子ユニット、基板及びサポータの側面図

【図 13】（a）本発明の一実施形態に係る角速度センサのセンサユニットとステムとの組付けを示す正面図

（b）図 13（a）に示すセンサユニット及びステムの側面図

（c）図 13（a）に示すセンサユニット及びステムの上面図

40 【図 14】（a）本発明の一実施形態に係る角速度センサのセンサユニットをステムに取り付けた状態を示す正面図

（b）図 14（a）に示すセンサユニット及びステムの側面図

（c）図 14（a）に示すセンサユニット及びステムの上面図

【図 15】（a）本発明の一実施形態に係る角速度センサの正面図

（b）図 15（a）に示す角速度センサの側面図

（c）図 15（a）に示す角速度センサの上面図

【図 16】 (a) 図 1 に示す音叉振動子とは異なる構成の音叉振動子の励振状態を示す正面図

(b) 図 16 (a) に示す音叉振動子のコリオリ力発生時の振動状態を示す側面図

(c) 図 16 (b) の状態での音叉振動子の斜視図

【図 17】 (a) 図 1 及び図 16 に示す音叉振動子とは異なる構成の音叉振動子の励振状態を示す正面図

(b) 図 17 (a) に示す音叉振動子のコリオリ力発生時の振動状態を示す側面図

(c) 図 17 (b) の状態での音叉振動子の斜視図

【図 18】 (a) ~ (d) 図 1 に示す音叉振動子の製造手順を示す斜視図

【図 19】 (a) ~ (d) 図 18 の (d) に継続する音叉振動子の製造手順を示す斜視図

【図 20】 (a) 電圧シートに形成されたパターン図

(b) 音叉振動子の励振軸及び検出軸の分極状態を示す断面図

【図 21】 (a) 図 1 に示す音叉振動子の第 1 の面垂直分極を示す断面図

(b) 図 1 に示す音叉振動子の第 2 の面垂直分極を示す断面図

(c) 図 1 に示す音叉振動子の面内分極を示す断面図

(d) 図 1 に示す音叉振動子と同様な複数の音叉振動子の分極状態を示す断面図

【図 22】 (a) 図 1 に示す音叉振動子の無励振時の電荷発生状態を示す断面図

(b) 図 1 に示す音叉振動子の面内励振時の電荷発生状態を示す断面図

(c) 図 1 に示す音叉振動子のよじれ振動時の電荷発生状態を示す断面図

(d) 図 1 に示す音叉振動子の、図 22 (c) と逆方向のよじれ振動時の電荷発生状態を示す断面図

【図 23】 (a) 本発明の一実施形態に係る角速度センサの特性トリミング前の測定状態を示す正面図

(b) 図 23 (a) に示す角速度センサの側面図

(c) 図 23 (a) に示す角速度センサの上面図

【図 24】 (a) 従来の角速度センサの斜視図

(b) 図 24 (a) に示す角速度センサのコリオリ力発

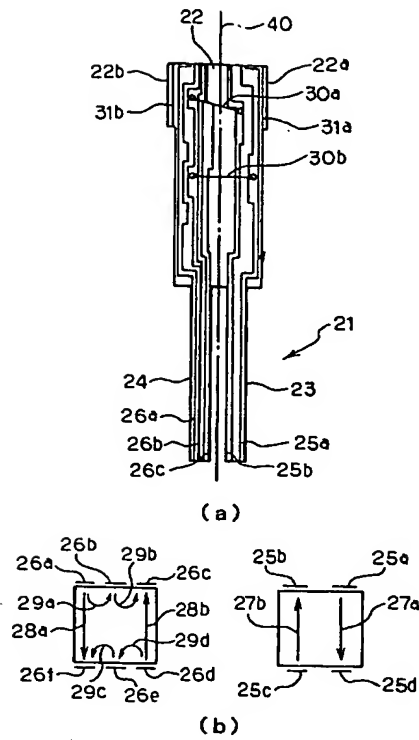
生時の状態を示す斜視図

【図 25】 非共振角速度センサの共振点を示す特性図

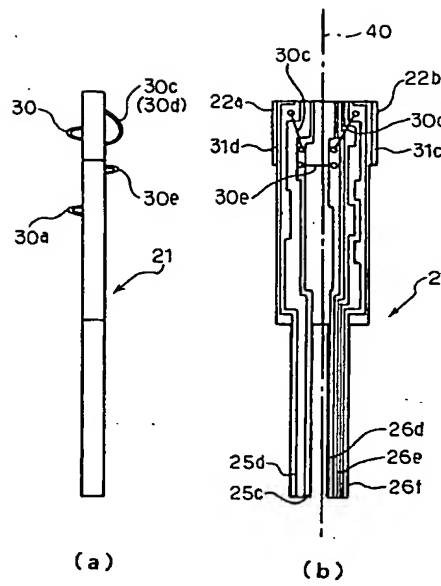
【符号の説明】

22 a、22 b	固定部
22	基台
23	励振軸 (第 1 励振軸)
24	検出軸 (第 1 検出軸)
21	音叉振動子
25 a、25 b、25 c、25 d	励振電極
26 a、26 b、26 c、26 d、26 e、26 f	検出電極
22 c、22 d、22 e、22 f	稜部
34、35	アーム部材 (嵌合部)
32	クランパブロック (保持部材)
58	角速度センサ
40	中心軸
33 a、33 b、33 c、33 d	ガイドピン
48	回路基板
50	回路基板
34 a、35 a	V 溝
47	振動子ユニット
61	アンダー弾性シート
66	アッパー弾性シート
55	ステム
56	キャップ
52	フレキシブル基板 (フレキシブルな基板)
71	音叉振動子
73	励振軸 (第 1 励振軸)
74	励振軸 (第 2 励振軸)
75	検出軸 (第 1 検出軸)
76	検出軸 (第 2 検出軸)
60	圧電セラミックシート材 (シート材)
37	低融点メッキ (保持部材に施されたメッキ)
119、119'	カド部
122、122'	カド部
51	サポータ
65	センサユニット
54 a、54 b、54 c、54 d	リードピン

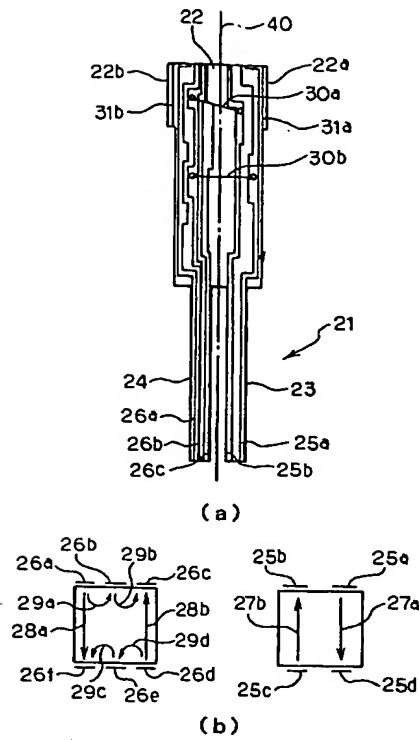
【図 1】



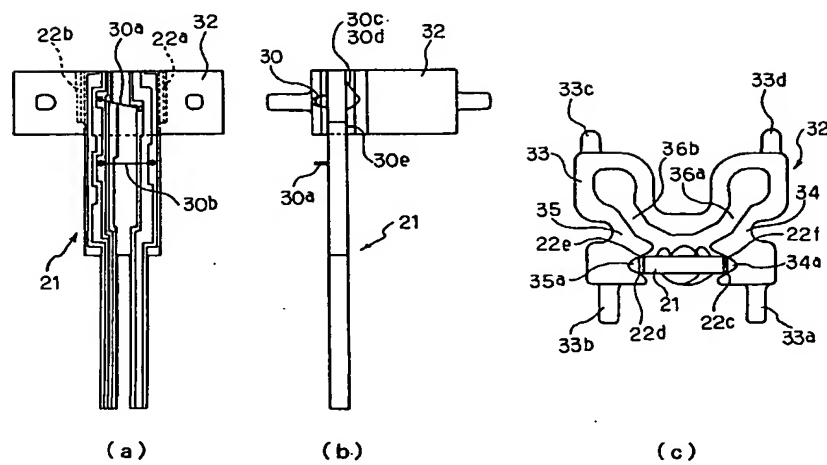
【図 2】



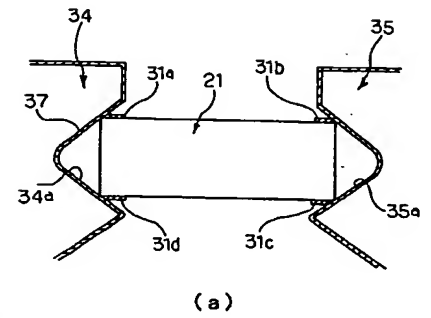
【図 3】



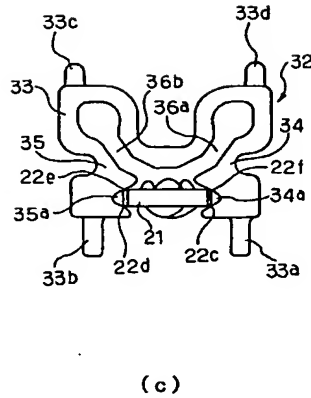
【図 4】



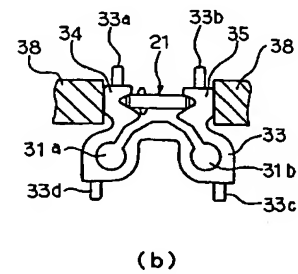
【図 5】



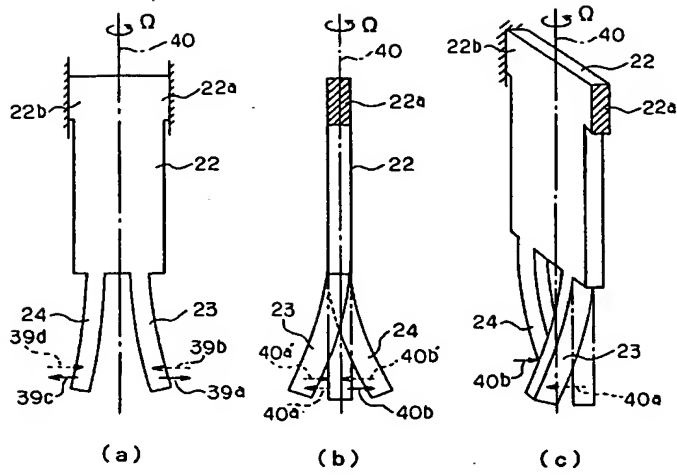
【図 6】



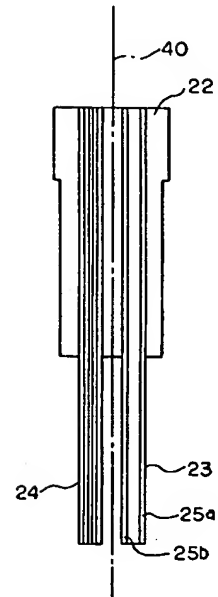
【図 7】



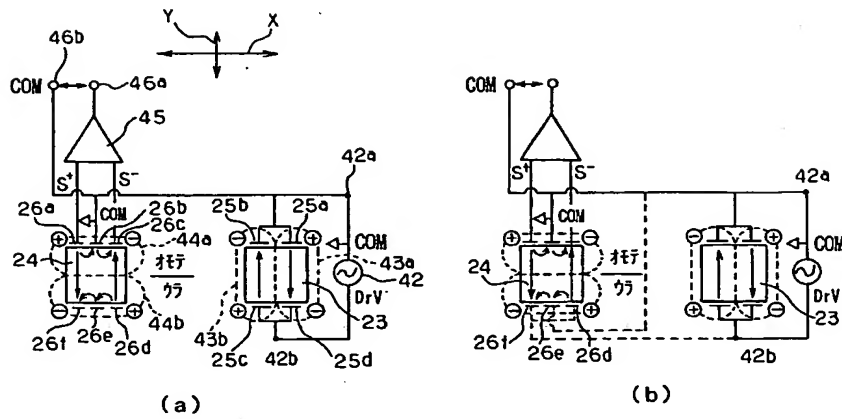
【図 5】



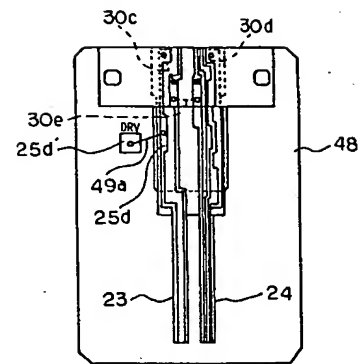
【図 7】



【図 6】

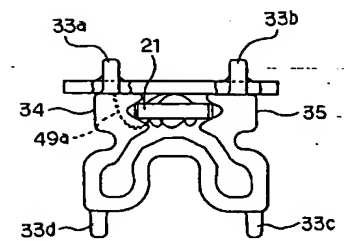
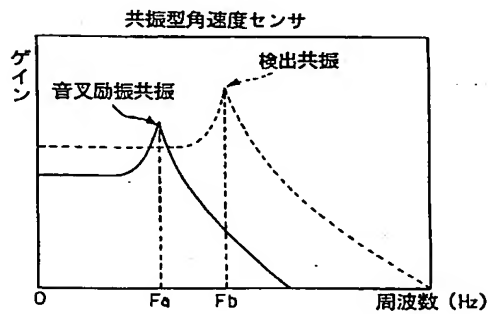


【図 10】



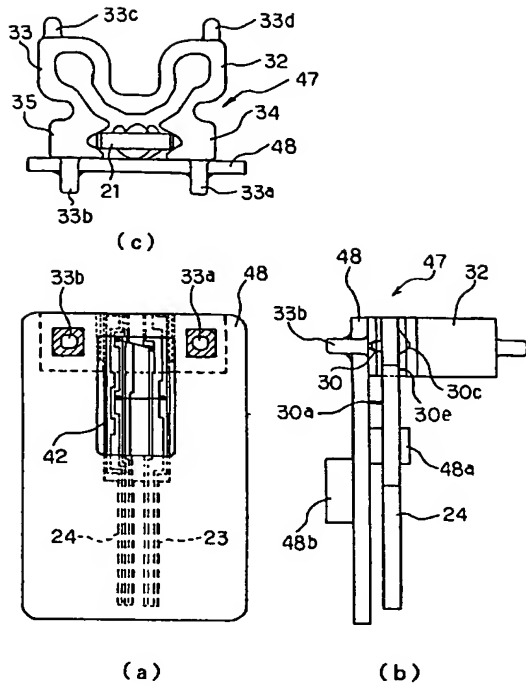
(a)

【図 25】

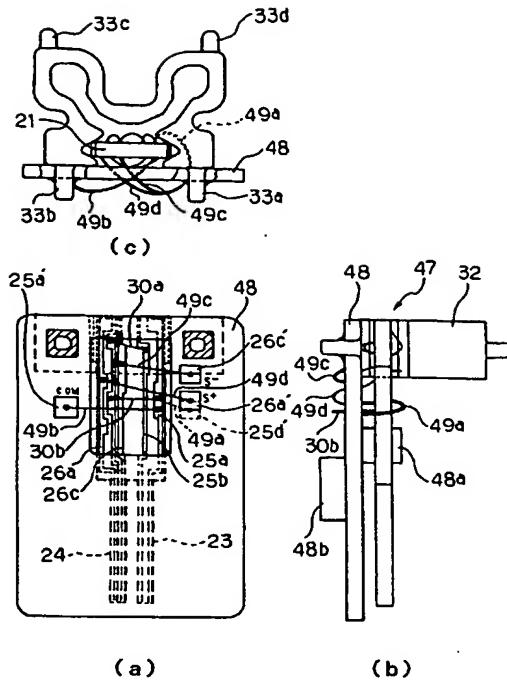


(b)

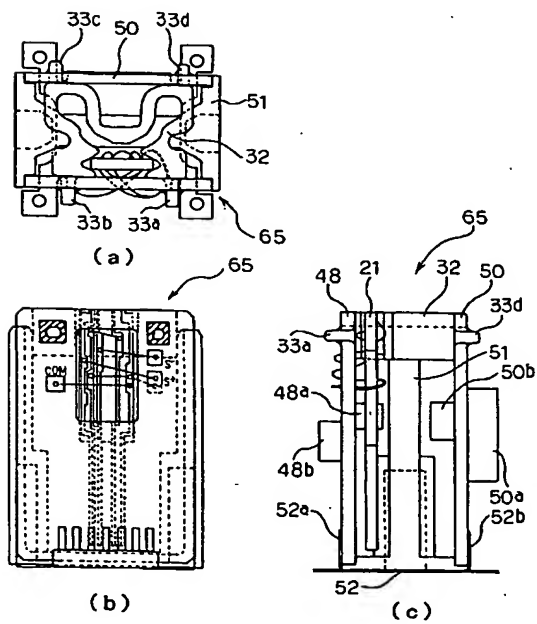
【図 9】



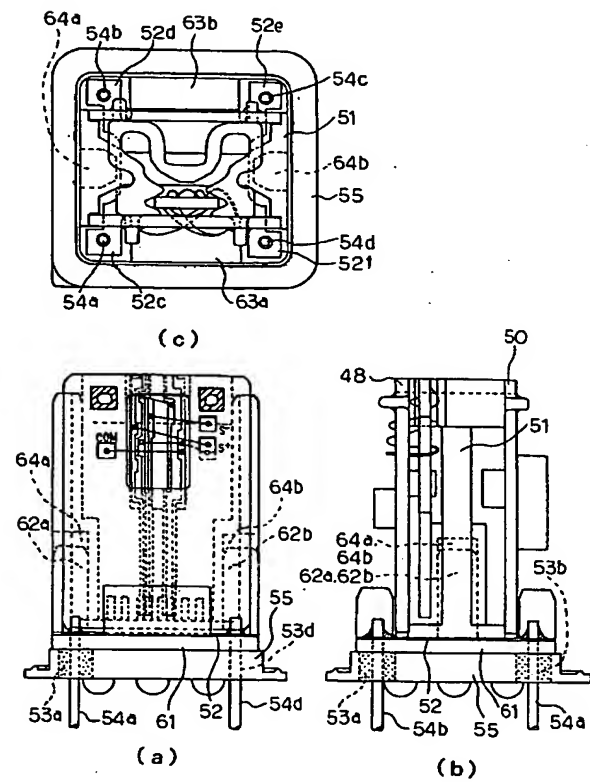
【図 11】



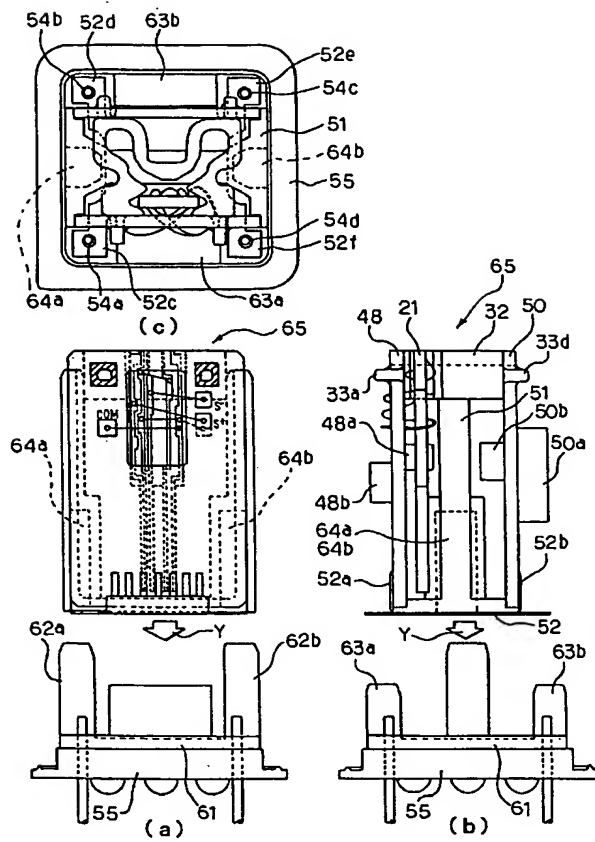
【図 12】



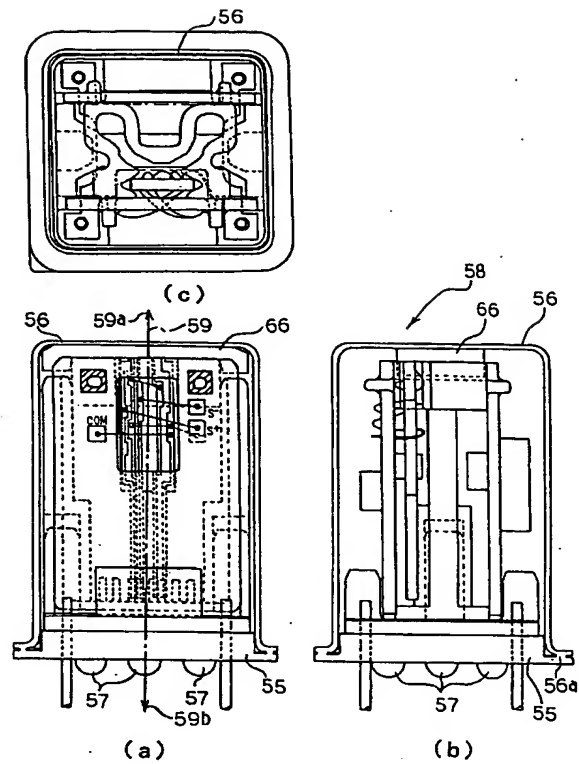
【図 14】



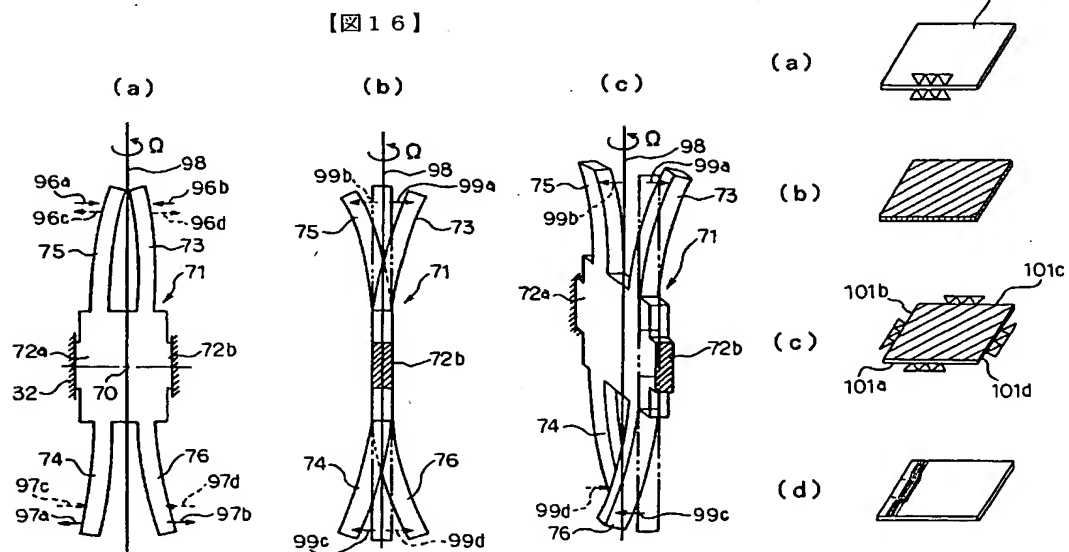
【図 13】



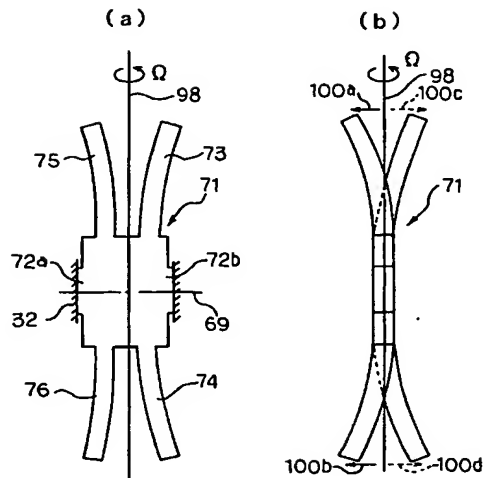
【図 15】



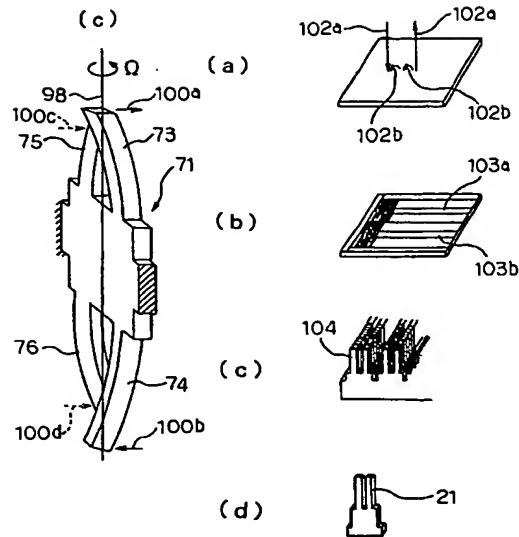
【図 18】



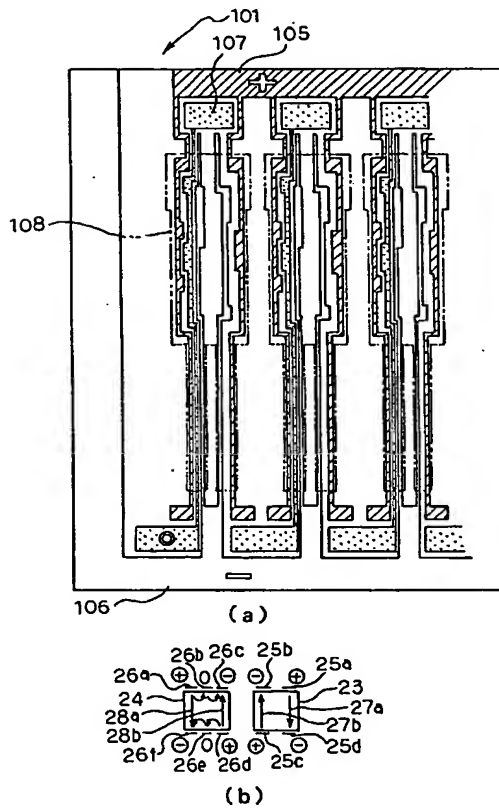
【図 17】



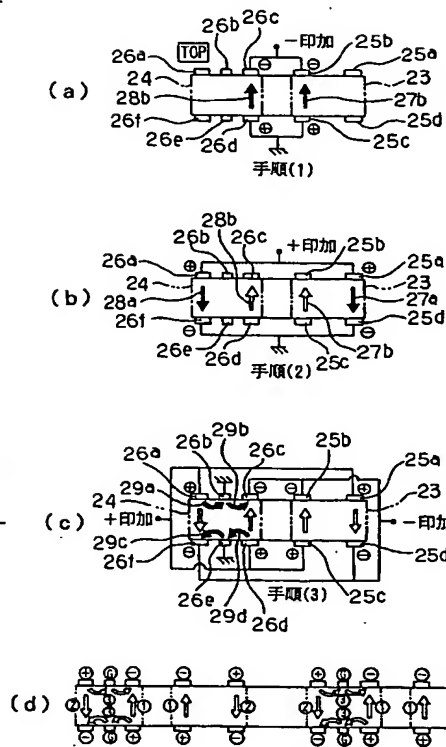
【図 19】



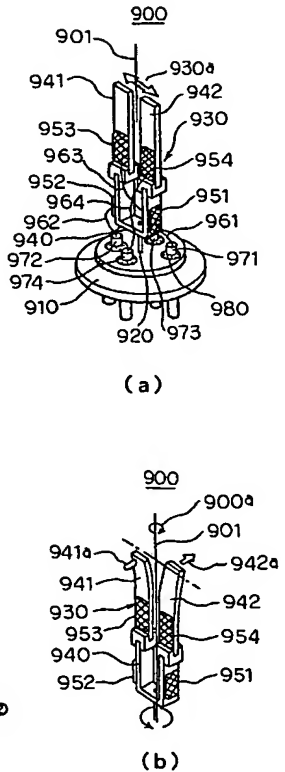
【図 20】



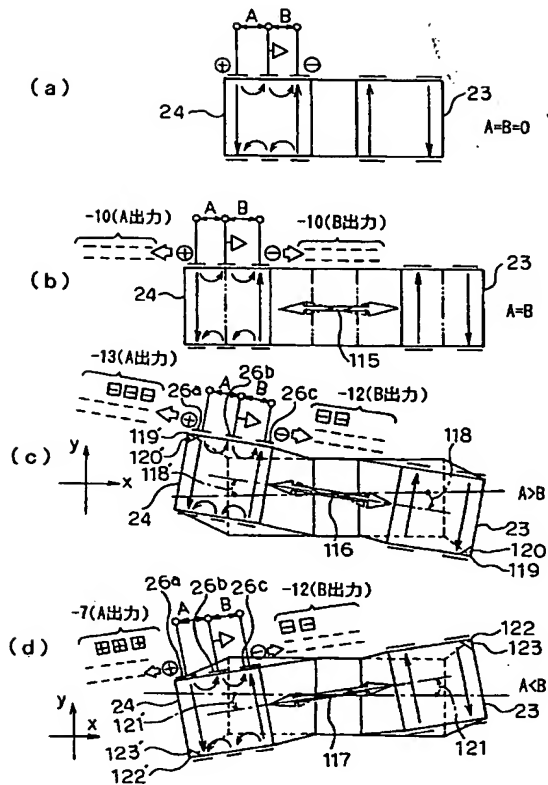
【図 2 1】



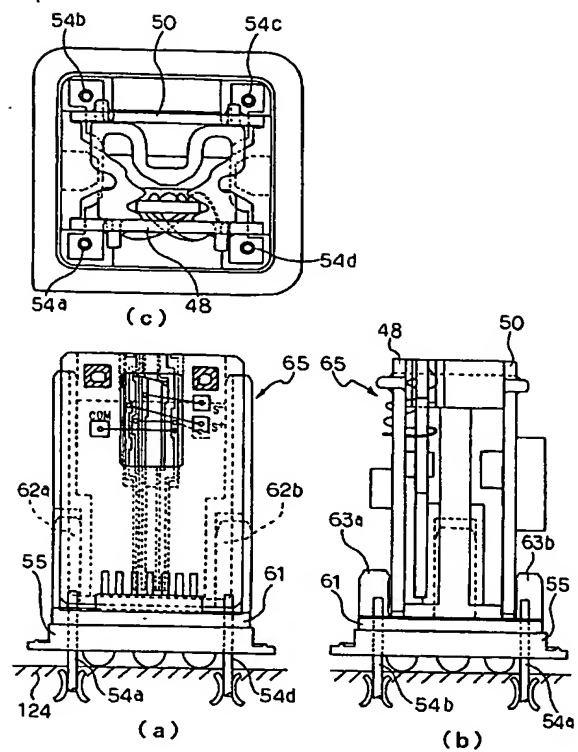
【図 24】



【図 22】



【図 23】



フロントページの続き

(72)発明者 関野 晴彦
神奈川県横浜市港北区綱島東四丁目3番1
号 松下通信工業株式会社内

(72)発明者 福田 徹
神奈川県横浜市港北区綱島東四丁目3番1
号 松下通信工業株式会社内
Fターム(参考) 2F105 AA01 BB02 BB11 CC01 CD13